COMPARAÇÃO RELATIVA DE MAPAS BATIMÉTRICOS ATRAVÉS DA MODELAGEM DIGITAL DE TERRENO NAS FORMAS DE GRADE REGULAR E IRREGULAR

Giseli Modolo Vieira MACHADO

RESUMO

Cada vez mais potentes, novos hardwares e softwares têm sido aproveitados com resultados satisfatórios no processo de construção de cartas. As Folhas de Bordo, produzidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), são destinadas ao auxílio da navegação e tornam-se suficientemente satisfatórias para a confecção de mapas batimétricos, levando-se em consideração a modelagem digital de terreno empregada e o método de interpolação utilizado.

Este trabalho tem como principal objetivo comparar relativamente os mapas batimétricos elaborados nos Softwares Surfer e ArcView, utilizando a modelagem digital de terreno nas formas de grade regular e irregular, bem como verificar o método de interpolação que, visualmente, melhor atenda às expectativas, sendo os mapas batimétricos uma grande ferramenta para estudos oceanográficos, de gerenciamento costeiro, de exploração dos recursos naturais e monitoramento ambiental. É objetivo deste trabalho também, conhecer o processo de confecção e as informações contidas nas Folhas de Bordo.

Neste trabalho foram elaborados quatro mapas batimétricos através da MDT. Três, na forma de grade regular, utilizando os métodos de interpolação kriging, vizinho mais próximo e triangulação com interpolação linear, confeccionados no Software Surfer. E outro, confeccionado na forma de grade irregular, utilizando o Software ArcView.

A Folha de Bordo trabalhada (FB-1500 001/80) limita-se do Cabo de São Tomé ao Cabo de Búzios (RJ), porém, a área de estudo abrange somente parte do litoral norte fluminense, de Macaé às proximidades da Barra do Furado.

A modelagem na forma grade irregular possibilita um modelo de superfície do terreno com uma melhor preservação das feições geomórficas da superfície, porém, a visualização do mapa batimétrico obtido neste trabalho não possibilitou uma boa interpretação da área, pois a digitalização da Folha de Bordo foi feita em ponto e não em linhas, que por sua vez, gerou mapas forma de grade regular com satisfatória visualização e detalhe da batimetria.

INTRODUÇÃO

Os Documentos Cartográficos elaborados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), em especial as Folhas de Bordo, permitem a confecção de mapas batimétricos apoiado na confiabilidade do conteúdo contido neste tipo de documento.

Estes Documentos Hidrográficos são instrumentos de base e de referência para as mais variadas áreas e atividades como: portuárias, de navegação, de exploração de petróleo, de engenharia costeira, de pesquisas científicas entre outras. Na Geomorfologia Costeira o emprego dado às informações contidas nos Documentos Hidrográficos torna-se indispensável para a compreensão da morfologia, da morfodinâmica e do transporte sedimentar na zona costeira e na plataforma continental interna.

Ao se trabalhar com as Folhas de Bordo com o intuito de produzir mapas batimétricos devemos escolher a modelagem digital e o método de interpolação que, aparentemente, melhor represente a batimetria de uma determinada área.

Neste trabalho foram utilizados os Softwares Surfer e ArcView. Neles foram processados a batimetria extraída da Folha de Bordo, abrangendo o trecho que vai desde Macaé à Quissamã-RJ.

A Folha de Bordo trabalhada limita-se do Cabo de São Tomé ao Cabo de Búzios (RJ), com escala natural de 1:100.000 no MC igual a 39°W, referente ao Datum Horizontal Córrego Alegre, no sistema UTM. A numeração referente a este documento é FB-1500 001/80.

A comparação relativa dos mapas batimétricos produzidos a partir da modelagem digital de terreno (MDT) pode esclarecer dentre os Softwares citados qual método que melhor atenderia ao objetivo de interpretação dos dados oceanográficos.

Este trabalho tem como objetivo principal a comparação relativa dos mapas batimétricos elaborados nos Softwares Surfer e ArcView, utilizando a modelagem digital de terreno nas formas de grade regular e irregular, bem como verificar o método de interpolação que, visualmente, melhor atenda às expectativas. É objetivo deste trabalho também, conhecer o processo de confecção e as informações contidas nas Folhas de Bordo.

MÉTODOS E TÉCNICAS

Primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica referente aos temas Folha de Bordo e Modelagem Digital de Terreno. Esta é uma etapa do trabalho aparentemente fácil, mas devido à escassez de material referente á Cartografia Náutica, a fonte referente a este tema foi quase exclusivamente na Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN.

Posteriormente, a Folha de Bordo foi georreferenciada e digitalizada empregando-se o Software Didger 3.0 (Golden Software Inc). A partir da digitalização, fez-se a produção dos mapas da plataforma continental produzidos nos Softwares ArcView 3.2 e Surfer 8.0 (Golden Software Inc).

Estes programas foram utilizados para dar o tratamento adequado aos dados extraídos da Folha de Bordo, podendo assim, confeccionar os mapas batimétricos, identificando dentro destes, o método que melhor atende as expectativas para uma representação mais fiel da superfície marinha em meio digital.

Folha de Bordo

A Folha de Bordo é praticamente a única fonte de dados batimétricos das áreas navegáveis do Brasil. Devido a sua grande importância, este é um documento que necessita de certo grau de precisão e por sua vez, deve transmitir grande confiabilidade quanto aos dados nela inserida.

Segundo a Diretoria de Hidrografia e Navegação (2004), a Folha de Bordo é a representação gráfica do levantamento hidro-oceanográfico confeccionada pela comissão executadora, de forma a constituir uma representação exata do relevo subaquático e do terreno adjacente, apresentando-se assim, uma síntese dos resultados obtidos nas diversas operações portadora de elevado grau de esmero e precisão constituindo após rigorosa verificação um documento básico para a construção e/ ou atualização da Carta Náutica.

A Projeção Cartográfica mais adequada para produzir as Folhas de Bordo é a Projeção Transversa de Mercator (Universal Transversa de Mercator -UTM) classificada como uma Projeção Cilíndrica Transversa Conforme (DHN, 2004). Segundo Araújo (1995), o sistema UTM é representado por uma grade de quilômetros superposta a um reticulado da Projeção Transversa de Mercator, ideal para fins técnico-científicos ou militares.

Vários elementos são essenciais nas Folhas de Bordo, como: os detalhes topográficos e hidrográficos; as informações de maré, de balizamento e toponímia; as cruzes de acerto; a articulação e a situação da Folha (VALENTE, 2002), permitindo assim, sua leitura e interpretação.

A atualização dos detalhes topográficos é constante devido às significativas modificações da linha de contorno representado na Folha de Bordo, devido a: construção de aterros, cais, piers, instalações portuárias ou outras obras de interesse á navegação. Esta linha de contorno é ao nível da preamar, exceto nos casos de mangues e pântanos costeiros, quando se representará seu limite exterior.

Os detalhes hidrográficos significativos como: profundidade, isobatimétricas, natureza do fundo, perigos à navegação (bancos, pedras, zonas de arrebentação e outros), fundeadouros, redemoinhos, plataforma de prospecção ou exploração de petróleo entre outros, também devem ter suas posições determinadas na Folha de Bordo, bem como, os elementos de marés e das correntes observadas na área, a toponímia dos acidentes topográficos e hidrográficos, e informações sobre o balizamento como faróis, balizas fixas, bóias e demais elementos.

As cruzes de acerto são cruzamentos representados na Folha de Bordo (UTM) que possibilitam o encaixe desta com a Carta de Projeção de Mercator (ARAÚJO, 1995). São elas que possibilitam a construção das Cartas Náuticas através da redução da Folha de Bordo em UTM, com o original desenhado da carta, na Projeção de Mercator (VALENTE, 2002).

A articulação é um esquema onde estão representados todas as Folhas de Bordo constantes na área sondada no levantamento hidrográfico. Segundo Valente (2002), isto ocorre no caso de levantamentos onde tenham sido construídas várias Folhas do Bordo, mostrando assim, a situação da Folha em relação às outras Folhas.

As profundidades ao serem extraídas pela embarcação, irão compor a batimetria das Folhas de Bordo, que são representadas pela profundidade correta (da sondagem). Mas para a confecção das Cartas Náuticas é exigida uma aproximação das profundidades que devem seguir alguns critérios a fim de padronizar estas numerações referentes a cada ponto de sondagem.

O Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) estipulou os seguintes critérios de aproximação das profundidades:

Tabela 1. Critérios de aproximação das profundidades (Elaborado por Araújo, 1995).

Representação nas Cartas	
0 a 21 metros	0_7 6_3 10_2 20_9
21 a 31 metros	21 21_5 25 30_5
> 31 metros	31 50 125 514
Unidade de Aproximação	
Sondagem entre 21_1 e 21_4	Representar na Carta 21
Sondagem entre 21_5 e 21_9	Representar na Carta 21_5
Sondagem entre 31_1 e 31_9	Representar na Carta 31

A determinação dos pontos de sondagem das Folhas de Bordo requer uma certa amarração, ou seja, precisa estar referenciada a um mesmo Datum. A determinação dos Datum Vertical dos levantamentos hidrográficos é geralmente determinada pela medição do nível da água da área abrangida num determinado período, estabelecendo como referencial o nível mais baixo da maré (nível de redução), (DHN, 2004). Este é, segundo Davis *et al* (1981), um importante fator de garantia de que todas as profundidades estarão referenciadas ao mesmo Datum Vertical.

A localização horizontal (coordenadas X,Y) de cada sondagem pode ser determinada utilizando um sistema eletrônico de posicionamento ou através de medições de ângulos e/ ou distâncias entre a embarcação e dois pontos fixos na terra.

O posicionamento eletrônico é um equipamento que tem sido muito utilizado para dar o posicionamento horizontal das pesquisas hidrográficas, pois necessita de poucos pontos de controle em terra, os dados apresentam-se em meio digital, as coordenadas da posição (X,Y) são instantaneamente obtidas em cada ponto de sondagem, além de necessitar de menos mão-de-obra nas embarcações (DAVIS *et al,* 1981).

Modelagem Digital de Terreno

Modelagem digital de terreno (MDT) é a representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculada a uma superfície real geralmente contínua, podendo o fenômeno representado ser variado (INPE, 2004). Segundo Burrough (1986) este é um método definido como, qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço, capaz de expressar as variações de altitude.

Um MDT pode ser elaborado para buscar diversas finalidades, dentre elas, destacam-se: melhor visualização (em três dimensões) do local ou área de estudo; facilidade na obtenção de cálculos volumétricos; identificação explicita de divisores de água; geração automática de vetores que determinam as orientações das vertentes; entre outras não citadas (ZANI, 19XX). Com o MDT podem-se calcular volumes, áreas, desenhar perfis e secções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e aspecto, gerar fatiamentos nos intervalos desejados e perspectivas tridimensionais (Inpe, 2004).

Segundo Itame *et al* (2003), o MDT tem facilitado em muito os trabalhos cartográficos, contudo, há necessidade de se verificar a qualidade dos produtos obtidos, através de avaliação por métodos estatísticos.

Ao transformar um Documento Cartográfico em meio digital, considerando que as Folhas de Bordo são projetadas em função de representar o relevo submarino sob o ponto de vista da segurança à navegação, Pérez (1996) apresenta algumas premissas que devem ser mantidas ao se tracejar as curvas isobatimétricas em meio digital: precisão suficiente para dar segurança durante a navegação de embarcações; suavidade no traçado, de maneira a facilitar sua compreensão e utilização por parte do usuário; e, representação das variações do terreno com mais aproximação da realidade.

Ao se representar uma superfície real no computador é indispensável à definição do MDT a ser utilizado, podendo ser através de equações analíticas ou através de rede de pontos na forma de grade regular (GR) ou irregular (TIN).

As grades regulares são geralmente utilizadas em aplicações qualitativas, ou seja, para visualização da superfície. Enquanto o modelo de grade irregular é utilizado quando se requer maior precisão na análise quantitativa dos dados (INPE, 2004).

A escolha da modelagem a ser utilizada vai depender da rapidez esperada do processamento dos dados no computador, da quantidade de dados amostrados e da qualidade almejada no produto final (INPE, 2004). A velocidade do processamento está diretamente ligada à quantidade de pontos representados, da mesma forma que, a, quantidade dos pontos está diretamente relacionada à qualidade do produto final.

Iremos tratar aqui somente a modelagem digital através de rede de pontos na forma de grade regular e irregular. As informações trabalhadas referem-se aos dados numéricos do terreno, no caso, um terreno submarino, onde foram representadas as coordenadas **x, y** e **z**, adquiridas a partir da digitalização da Folha de Bordo.

Modelagem digital na fora de grades regulares (GR)

A modelagem digital na forma de grades regulares baseia-se na aproximação de superfícies através de um poliedro de faces retangulares, onde os vértices desses poliedros podem ser os próprios pontos amostrados, caso estes tenham sido adquiridos nas mesmas posições **xy** que definem a grade desejada (INPE, 2004), (Figura 1).

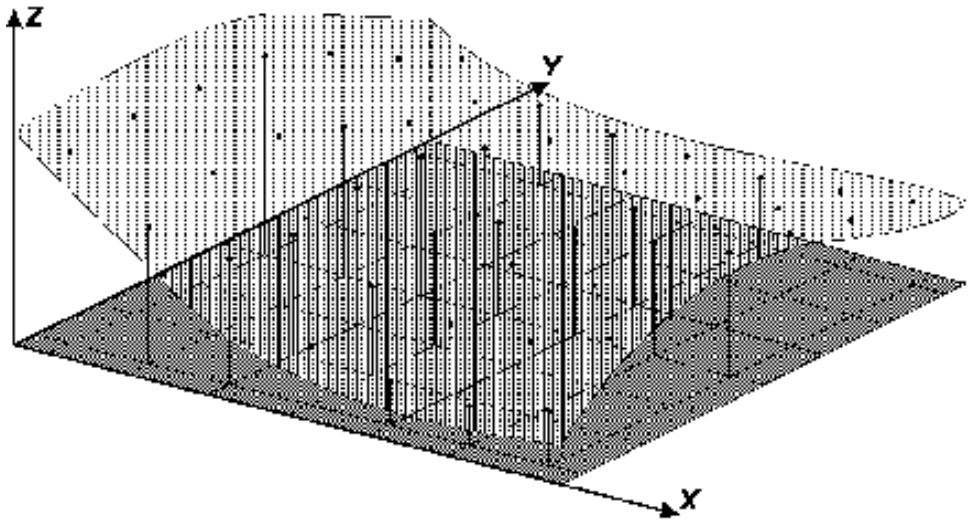

Figura 1. Modelo de superfície gerada por uma grade regular. (Inpe, 2004)

Segundo os dados fornecidos pelo Inpe (2004), a geração de grade regular deve ser efetuada quando os dados amostrados na superfície não são obtidos com espaçamento regular.

Modelagem digital na fora de grades irregulares (TIN)

A modelagem digital na forma de grades irregulares (Triangular Irregular Network- TIN) é realizada por meio de grade irregular triangular, onde cada polígono formado na face do poliedro é um triângulo, sendo os vértices desses triângulos os pontos amostrados da superfície (INPE, 2004), (Figura 2).

O modelo de superfície gerado por grade irregular permite que as feições morfológicas importantes sejam consideradas, como por exemplo, as descontinuidades representadas por feições de relevo (cristas) e drenagem (vales), (INPE, 2004). Mccullagh (apud, HUTCHINSON e GALLANT, 1999) afirma que a triangulação é um método atrativo, que é motivado por sua capacidade de adaptação aos vários tipos de terreno.

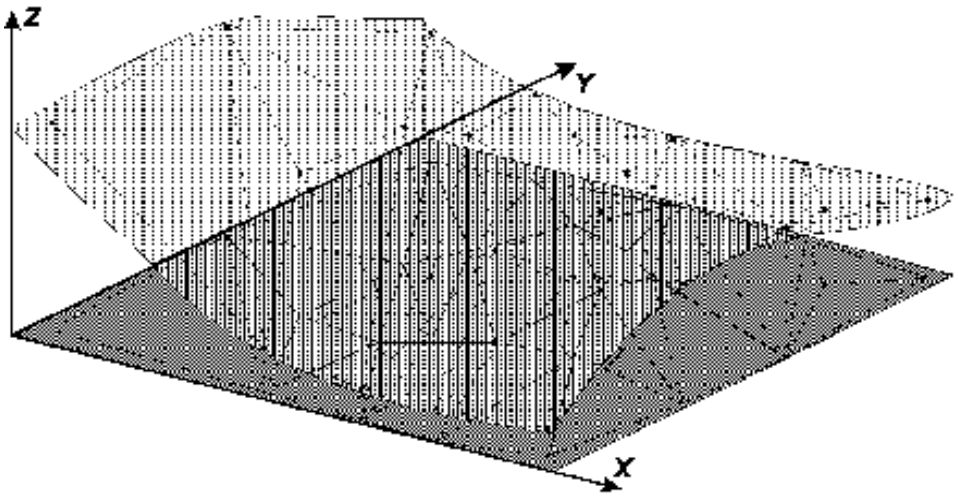

Figura 2. Modelo de superfície gerada por uma grade irregular. (INPE, 2004)

RESULTADOS

A escolha do método de interpolação dos pontos irá definir aparentemente a melhor opção capaz de permitir uma representação mais fiel da superfície. Portanto foram testados neste trabalho alguns métodos de interpolação a fim de identificar o método mais adequado para a representação e interpretação da superfície marinha.

O processo de digitalização da Folha de Bordo foi efetuado em pontos, nos quais foram exportados em um arquivo no formato *dat.*, permitindo a utilização o *Surfer* 8.0, um programa da Golden Software® elaborado para sistemas operacionais Microsoft Windows®, capaz de desenvolver a modelagem de terreno na forma de grade regular.

Uma das características deste programa consiste em criar superfícies de três dimensões a partir de dados tabulares e vetoriais devidamente tratados, como por exemplo, os mapas em três dimensões *Wireframe* (Figura 3), que fornecem uma exposição tridimensional dos dados, porém sem um preenchimento textural (Zani, 19XX).

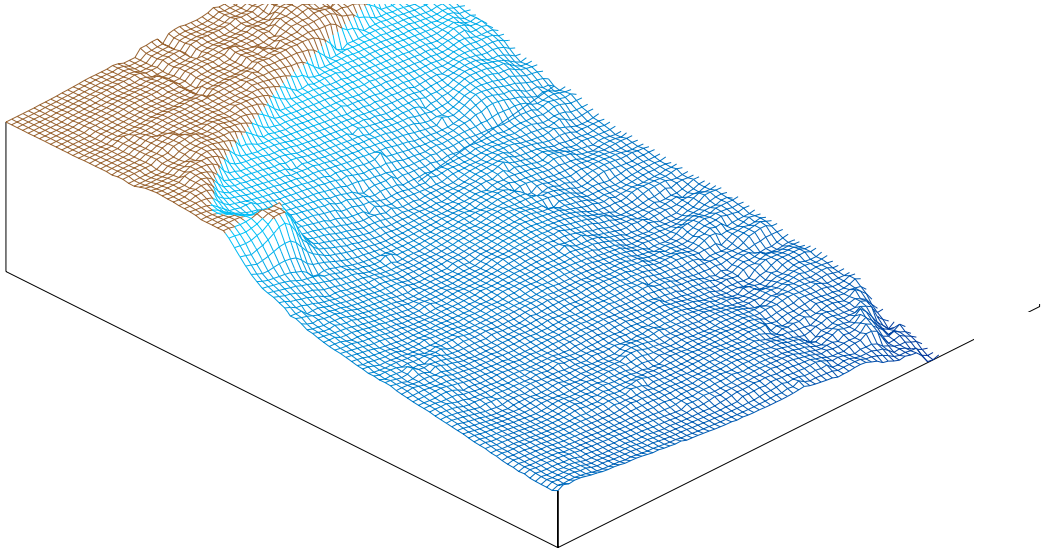

Figura 3. Mapa em três Dimensões – 3D do trecho que vai de Macaé à Quissamã -RJ

O método muito empregado do programa Surfer para a MDT é o *Kriging.* Este método tem sido muito proveitoso e popular em vários campos de atuação. Segundo o próprio programa *Surfer*, o *Kriging* produz mapas visualmente com melhor aparência gerados a partir de dados espaçados irregularmente, incorporando os dados adjacentes de maneira natural e eficiente, (Figura 4).

O *Kriging* é um método de grade muito flexível capaz de produzir uma grade exata dos seus dados (MCDONNELL e BURROUGH, 1998; e *SURFER*, 2002). Segundo Carter (1996) a krigagem envolve uma ponderação dos pontos mais próximos dentro de uma zona de influência usando para isto equações específicas. A Krigagem realiza o objetivo de encontrar a melhor maneira para estimar o peso da interpolação e suprir informações sobre os erros que existirem (MCDONNELL e BURROUGH, 1998).

De acordo com McDonnell e Burrough (1998) uma das limitações deste método de interpolação refere-se á avaliação dos erros, pois depende da distribuição dos pontos de amostragem e do tamanho dos blocos interpolados.

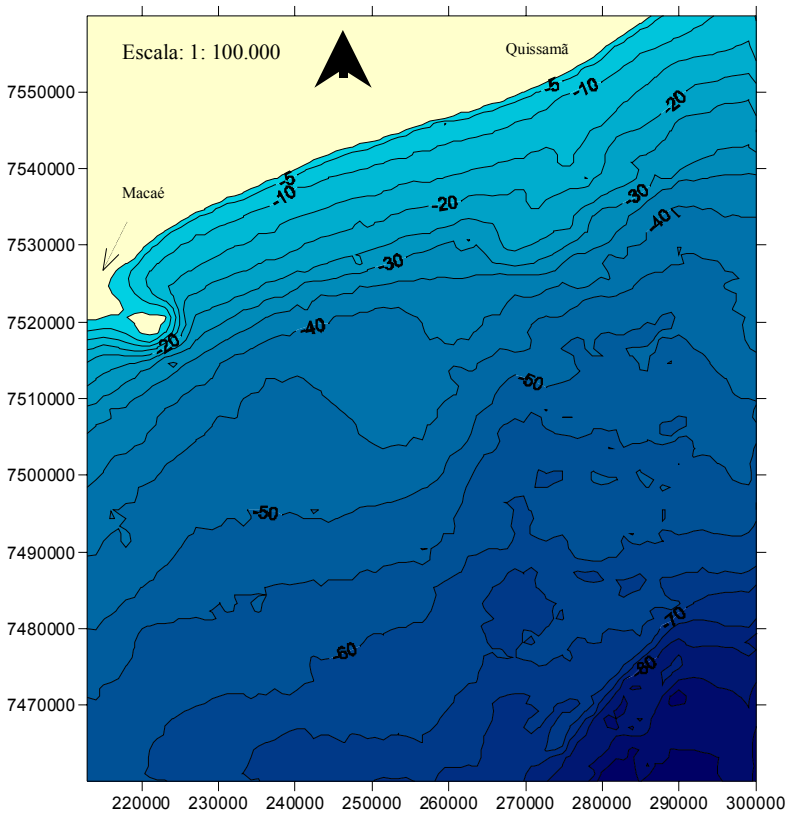

Figura 4. Mapa Batimétrico na forma de grade regular gerado pelo método de interpolação *Kriging*.

O método do *Vizinho mais próximo*, segundo (INPE, 2004), é usado para manter os valores das cotas na grade sem gerar valores intermediários. È um método que designa somente um valor do ponto mais próximo da grade (Figura 5), porém, este método é mais proveitoso quando os dados já são igualmente espaçados, sendo efetivo para o enchimento de buracos nos dados. De acordo com *Surfe*, quando você usa este método para converter regularmente os dados espaçados XYZ para um arquivo da grade, você pode determinar o espaçamento da grade igual ao espaçamento entre os pontos do seu arquivo, (Figura 6).

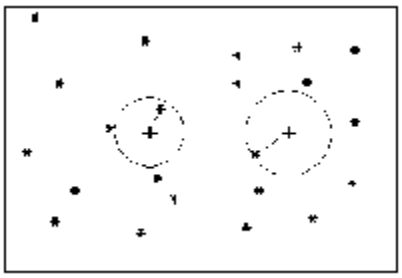

Figura 5. Valor da cota (+) equivalente ao valor amostrado mais próximo. (Inpe, 2004)

O método por *Triangulação com Interpolação Linear* é segundo Guibas e Stolfi (1985), em seu trabalho que serve de base para a interpolação no programa, um método opcional usado pelo *Surfer*. Os triângulos são gerados através da criação de linhas entre os pontos amostrados, onde os pontos originais são conectados de tal maneira que nenhuma extremidade do triângulo seja cortada por outro triângulo. Este método é um interpolador exato, pois os dados originais são usados nos triângulos, respeitado cuidadosamente os valores (*SURFER*, 2002), (Figura 7).

Existem também outros métodos de interpolação disponíveis em programas que tratam da modelagem digital na forma de grade regular, porém não foram tratados neste trabalho.

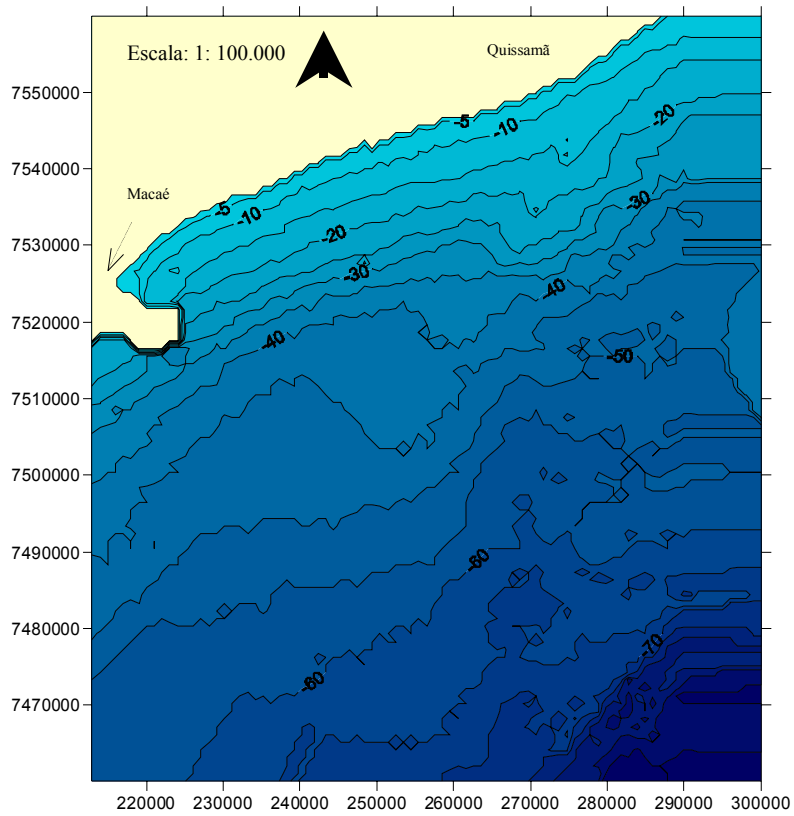

Figura 6. Mapa Batimétrico na forma de grade regular gerado pelo método de interpolação do *Vizinho mais Próximo.*

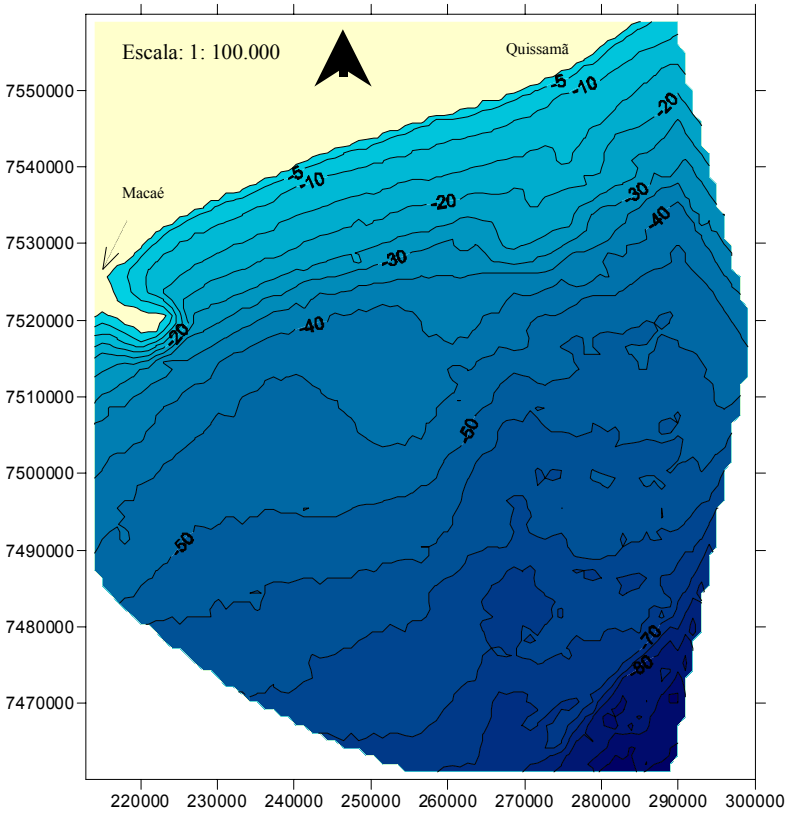

Figura 7. Mapa Batimétrico na forma de grade regular gerado pelo método de interpolação da *Triangulação com Interpolação Linear.*

De acordo com as informações fornecidas pelo Inpe (2004), o modelo TIN permite também, a utilização dos próprios pontos amostrados para modelar a superfície, sem a necessidade de qualquer tipo de interpolação sobre os mesmos, além de reduzir bastante o número de

redundância comparada com a grade regular, uma vez que, a malha é mais fina em regiões de grandes variações e mais grossa em regiões quase planas, porém, o procedimento para a obtenção de dados tende a ser mais complexo e conseqüentemente mais demorado.

Neste trabalho foi obedecido o critério de Delaunay. Este critério procura maximizar os ângulos dos triângulos (GOLÇALVES, 2001), fazendo com que a malha contenha triângulos com geometria mais próxima possível de eqüiláteros, evitando assim, a criação de triângulos afinados (FELGUEIRAS, 1999). Carter (1996) aponta que a triangulação honra os pontos amostrados, pois a superfície passa exatamente através de cada ponto conhecido apresentando erros relativamente pequenos, além da vantagem de utilizar as linhas de quebra quando ocorrer superfícies descontínuas.

A linha de quebra representa mais fielmente a superfície, uma vez que não suaviza as feições morfológicas (INPE, 2004). Entretanto, para este tipo de mapa é necessário que seja feita a digitalização da Folha de Bordo em linhas permitindo a confecção de mapas batimétricos com isolinhas. Portanto, como a digitalização foi feita em pontos e estes exportados em arquivos *shape* para o *ArcVew* 3.2, o mapa não pode apresentar as isolinhas (Figura 8).

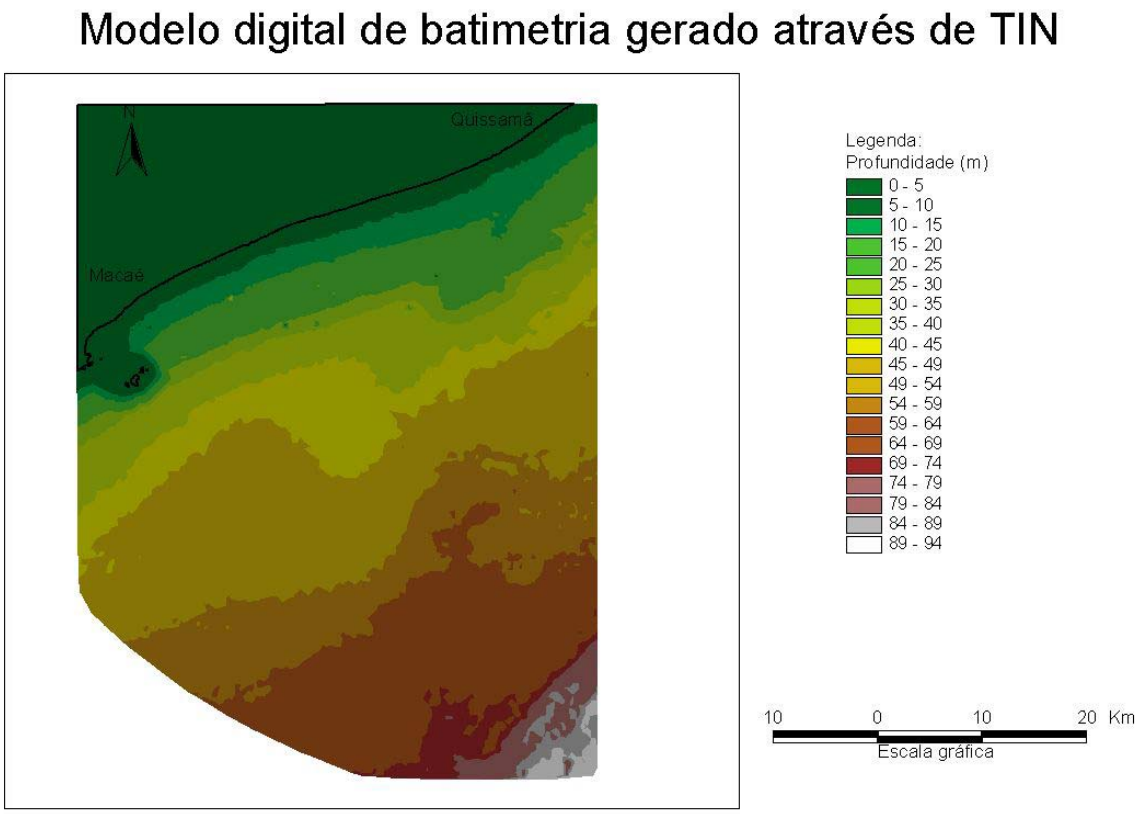

Figura 8. Mapa Batimétrico na forma de grade irregular gerado pelo critério de Delaunay.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Todo o trabalho de confecção das Folhas de Bordo, incluindo a escolha da Projeção Cartográfica, a escolha dos elementos que a irão compor e do método de coleta dos dados, deverá atender as exigências na qual se destina este tipo de Documento Cartográfico – auxílio á navegação.

É através da confiabilidade e da garantida da qualidade e da precisão dos dados contidos neste Documento que se é possível permitir o enriquecimento de estudos mais detalhados necessários às diversas pesquisas oceanográficas, capazes de produzir outros documentos riquíssimos como é o caso dos mapas batimétricos, os mapas de refração e difração de

ondas, indispensáveis em programas de gerenciamento costeiro, de engenharia costeira, de registro e exploração dos recursos naturais, e de monitoramento ambiental.

Com base na importância deste Documento, se fez necessário o conhecimento de alguns dos métodos de interpolação na geração de mapas batimétricos em modelo digital.

Apesar da modelagem na forma grades irregulares (TIN) possibilitar um modelo de superfície do terreno com uma melhor preservação das feições geomórficas da superfície, a visualização do mapa batimétrico obtido não possibilitou uma boa interpretação da área, visto que, não foi possível a produção de um mapa a partir da digitalização da Folha de Bordo em linha. Desta forma, a batimetria apresentou-se de forma mais grotesca, devido à ausência de isolinhas dificultando a interpretação do mapa, agravada pela limitação de cores do programa. Além de ter apresentado maior dificuldade para inserção das ilhas e da parte continental no mapa.

A MDT na forma de grades regulares que é geralmente utilizada em aplicações qualitativas, apresentou mapas com melhor visualização (estética) e detalhes da batimetria, além de representar as isolinhas em um traçado com melhor precisão.

Dentro do modelo GR o método de interpolação *Kriging* apresentou-se como um método mais flexível quanto à interpolação e extrapolação dos pontos, ou seja, este método incorporou os dados adjacentes, inexistentes, de maneira mais natural e eficiente, produzindo um mapa com melhor aparência.

O método de interpolação do *Vizinho mais próximo* pode se tornar mais útil para uma primeira visualização do mapa, pois não gera os valores intermediários, interpolando somente os pontos realmente existentes. Porém, este método dificultou a interpretação das áreas limites do mapa que apresentou isolinhas retas, não estimando os trechos onde não existem pontos de amostragem. Este método não separou as ilhas do continente, representado-as de forma conectadas e sem o acompanhamento da batimetria.

O método da *Triangulação com Interpolação Linear* também conectou as ilhas ao continente, mas apresentou um acompanhamento da batimetria na área adjacente. Este é um método que se comportou de maneira diferenciada dos demais devido à interpolação ter ocorrido somente nas áreas onde realmente havia pontos de amostragem, excluindo as áreas ao redor da batimetria, dificultando uma interpretação mais generalizada da área, porém muito mais fiel dentro da área de amostragem.

Portanto o método de interpolação que aparentemente melhor se adequou para representar o valor aproximado dos pontos presentes na superfície analisada foi o *Kriging*, pelo fato de conseguir extrapolar a interpolação no mapa nas áreas onde não havia pontos de amostragem de forma suave, facilitando a interpretação das curvas batimétricas e por conseguir representar as ilhas não da forma mais fiel, mas, com maior realismo das isolinhas em sua adjacência.

Devido à precisão dos pontos da Folha de Bordo que é destinada ao auxílio da navegação, este Documento torna-se suficientemente satisfatório para a produção de mapas batimétricos e garante a qualidade do produto final, sabendo que, será a escolha da modelagem digital de terreno e do método de interpolação que irão definir a qualidade e precisão final do mapa, capaz de representar uma superfície muito próxima da realidade.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E (SO-HN). Notas de Cartografia. In: **Tops Hidrográficos**. Niterói: Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), 1995. cap. 4.

BURROUGH, P.A. Principles of geographical information systems for land resources assessment.. Oxford: Claredon Press, 1986. p.39-56.

CARTER, G.F.B. Spatial data transformations. In: CARTER, G.F.B**. Geographic information systems for geoscientistics: Modelling with GIS**. Ontario: Ed. Pergamon, 13 v., p. 139-177, 1996.

DAVIS, R.E.; FOOTE, F.S.; ANDERSON, J.M.; MIKHAIL, E.M. **Surverying: theory and practige.** Library os Congress Cattaloging in publication Data, 1981.

DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). Projeções cartográficas; A Carta Náutica. Disponível em: **<http://www.dhn.mar.mil.br/bhm/publicaçao/douload/cap2.pdf>.** Acesso em: 21 out. 2004.

FELGUEIRAS, C.A. Modelagem numérica do terreno. In: FELGUEIRAS, C.A. **Introdução ao geoprocessamento**. Cap. 6, 1999. Disponível em: <http;//www.dip.inpe.br/~gilberto/livro/cap6-mnt.pdf> . Acesso em: 25 jul.2000.

GONÇALVES, M.L.A.M. **Geração de modelo digital de terreno a partir de mapas digitais 3D: Estudo de caso para garantia do contexto geomorfológico com redução dos dados amostrais**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

GUIBAS, L. and STOLFI, J. Primitives of the manipulation of general subdivions and the computation of Voronoi Diagrama, ACM. **Transactions of Graphics**,. v.4 (2), p. 74-123, 1985.

HUTCHINSON, M.F. and GALLANT, J.C. Representation of terrain, In: LONGLEY, P.A.; GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J. and RHIND, D.W. **Geographical Informatio Systems**. England: Longman, 1999, p.105-124.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Geração de grades. Disponível em: **<ttp://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/mnt2.htm#intro_grades>.** Acesso em: 09 de nov. 2004.

ITAME, O.Y.; HASEGAWA, J.K.; SANTOS, L. Análise estatística de modelo digital de terreno. In: **XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA**. São Paulo. Anais eletrônico... Universidade Estadual Paulista. 2003. 4p. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/139-C28.pdf> . Acesso em: 18 nov.2004.

McDONNELL, R.A. e BURROUGH, P.A. Optimal interpolation using geostatistics. In: **Principles of geographical information systems.** Oxford: Oxford University Press, cap. 6, p. 132-161, 1998.

PÉREZ, L.A.O. Traçado de curvas isobatimétricas em cartas náuticas mediante processo digital. **Instituto Militar de Engenharia (IME)**, 1996. 114 p.

SURFER. Goldem Software Inc da Microsoft Windows®. Versão 8.0. **Microsoft** , 2002.

VALENTE, R– SG-HM. Documentos Cartográficos Produzidos em um Levantamento Hidrográfico. In: VALENTE, R– SG-HM. **Apostila de Cartografia**. Niterói: Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), 2002. Cap. 10.

ZANI, H. Uma proposta prática para a elaboração de um modelo digital do terreno, utilizando-se o Software Surfer 8. Disponível em: **<http://www.dge.uem.br//geonotas/vol8-2/hiran.shtml**>. Acesso em: 22/11/2004.